

Wahrnehmungslernen von im peripheren Gesichtsfeld dargebotenen stereoskopischen Reizen

Semesterarbeit

Fachbereich Psychologie
Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von
Jessica Rüssmann

Betreuer: Prof. Dr. W. Skrandies

Giessen, Oktober 2005

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3-4
1. Theorie	4-11
2. Methodik	
2.1 Versuchspersonen	11
2.2 Material und Durchführung	12-14
3. Ergebnisse	
3.1 Ergebnisse aller Versuchspersonen mit stereoskopischen Reizen	15-19
3.2 Ergebnisse der Versuchspersonen mit kleinen Quadraten im Training	19-21
3.3 Ergebnisse der Versuchspersonen mit großen Quadraten im Training	22-25
4. Diskussion	25-30
Literaturverzeichnis	31-32

Zusammenfassung

Ergebnisse früherer Studien haben gezeigt, dass nach einer Übungsphase visuelle dreidimensionale Reize deutlich besser erkannt werden können. Das Erkennen der Reize wird somit gelernt, es handelt sich hierbei um Wahrnehmungslernen. Um dies zu überprüfen, wurden 28 Versuchspersonen untersucht. Neben der erneuten Bestätigung, dass es bei wiederholter Darbietung visueller Stimuli zu einer verbesserten Wahrnehmungsleistung kommt, sollte untersucht werden, ob die verbesserte Wahrnehmung abhängig vom Ort des Reizes im Gesichtsfeld ist, und ob die Verbesserung spezifisch für den in der Übungsphase dargebotenen Stimulus ist. Zur Untersuchung wurden den Versuchspersonen am Computer visuelle Stimuli in Form von acht dreidimensionalen um einen Fixationspunkt angeordneten Quadraten dargeboten. Als Training erfolgten acht Durchgänge á 40 Reizdarbietungen, dies dauerte insgesamt etwa 20 Minuten. Während dieses Zeitraums wurde eine Verbesserung der Wahrnehmungsleistung erwartet. Vor und nach dieser Trainingsperiode erfolgte jeweils ein Durchgang á 40 Reizdarbietungen mit Reizen, die in ihrer Exzentrizität gegenüber denen in der Trainingsphase variierten. Diese Kontrolldurchgänge sollten die Hypothese bestätigen, dass das Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist. Es wurde erwartet, dass eine Verbesserung der Wahrnehmungsleistung lediglich bei den trainierten Reizen, nicht aber zwischen den beiden Kontrolldurchgängen mit den nicht trainierten Reizen, zu beobachten ist. Die Gruppe der Versuchspersonen teilte sich in zwei Stichproben auf, wobei eine mit Reizen einer kleinen Exzentrizität trainiert wurde, hingegen Kontrolldurchgänge mit Reizen einer großen Exzentrizität, absolvieren musste. Die zweite Stichprobe wurde im Gegensatz dazu mit Reizen einer großen Exzentrizität trainiert, absolvierte hingegen Kontrolldurchgänge mit Reizen einer kleinen Exzentrizität. Zur Bestätigung der Hypothese, dass das Wahrnehmungslernen abhängig vom Ort des dargebotenen Reizes im Gesichtsfeld ist, wurde erwartet, dass sich bei der Stichprobe, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert wurde, ein größerer Lernerfolg einstellt, als bei der, die mit Reizen großer Exzentrizität trainierte. Die Versuchspersonen mit Reizen kleiner Exzentrizität im Training zeigten im Gegensatz zu denen mit Reizen großer Exzentrizität im Training, eine deutliche Verbesserung der Wahrnehmungsleistung, die schon nach einer kurzen Übungszeit aufgetreten ist. Beim Vergleich des Lernerfolgs verzeichnete sich ein besserer Lernerfolg bei Versuchspersonen, die mit kleinen Reizen trainiert haben. Diese Gruppe der Versuchspersonen, zeigte jedoch auch einen Transfer der Leistungsverbesserung auf den untrainierten Kontrollreiz. Diese Ergebnisse widersprechen der Hypothese, dass eine verbesserte Wahrnehmung spezifisch für

den in der Trainingsphase dargebotenen Reiz ist. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei Versuchspersonen mit Reizen großer Exzentrizität im Training kein Transfer der Wahrnehmungsleistung. Es trat somit keine Verbesserung zwischen den beiden Durchgängen der untrainierten Kontrollreize auf.

1. Theorie

Das Sehen ist der komplexeste und am weitesten entwickelte aller menschlichen Sinne. Er ermöglicht dem Menschen, wie auch anderen Lebewesen, Objekte und Veränderungen auch auf weitere Entfernungen hin wahrzunehmen und das Handeln darauf einzustellen. Schon Friedrich Schiller verbalisierte die Wichtigkeit des Sehens: Sterben ist nichts - doch leben und nichts sehen, das ist ein Unglück (Wilhelm Tell, zitiert nach Knauers 2003). Die enorme Bedeutung des Sehens spiegelt sich auch in der wissenschaftlichen Forschung wider, schon lange ist er von großem Interesse. So wurde er der am häufigsten und besten untersuchte Sinn des Menschen. In der psychologischen Forschung stellt der Sehsinn vor allem in der Allgemeinenpsychologie sowie der Entwicklungspsychologie einen Forschungsschwerpunkt dar.

Das Sehen wird durch ein komplexes visuelles System ermöglicht, an dem neben dem Auge auch einige Regionen des Gehirns, unter anderem das Corpus geniculatum laterale, sowie der visuelle Cortex beteiligt sind: Beim Sehvorgang passiert Licht erst die Hornhaut, dann die Pupille und die Linse, wobei es fokussiert und auf Retina gelenkt wird. Auf der Retina wird das Licht zu den Rezeptoren geleitet und in elektrische Signale transformiert. Über den Sehnerv gelangen die elektrischen Signale ins Gehirn, wo sie zu einer visuellen Wahrnehmung führen. Die Rezeptoren auf der Retina sind Stäbchen und Zapfen. Das menschliche Auge besitzt auf jeder Retina 120 Millionen Stäbchen, hingegen nur 5 Millionen Zapfen. Reflektierte Lichtstrahlen von Objekten und anderen visuellen Reize, die wir direkt ansehen, fallen auf die Fovea, dem Ort des schärfsten Sehens, alle anderen reflektierten Lichtstrahlen der Objekte im Gesichtsfeld fallen auf die Netzhautperipherie. In der Fovea befinden sich ausschließlich Zapfen, in der Netzhautperipherie befinden sich sowohl Stäbchen als auch Zapfen, allerdings nimmt ihre Dichte mit zunehmender Entfernung zur Fovea ab. Das Phänomen der räumlichen Summation ist für Unterschiede in der Sehschärfe der beiden Rezeptorsysteme verantwortlich. Die elektrischen Signale der Rezeptorzellen konvergieren auf die weiterleitenden Ganglienzellen, wobei etwa 120 Stäbchen, hingegen nur 6 Zapfen auf

eine Ganglienzelle konvergieren. In bestimmten Regionen der Retina, nahe der Fovea, konvergiert sogar nur ein Zapfen auf eine Ganglienzelle. Die Erregung der Rezeptoren wird erst ab einer gewissen Schwelle weitergeleitet. Durch die Konvergenz kann diese Schwelle schneller erreicht werden. Räumliche Summation ist der Grund für die erhöhte Lichtempfindlichkeit von Stäbchen. Die Reaktionen von vielen Stäbchen summieren sich auf eine Ganglienzelle, die Erregung weiterleitet. Dies kann schon trotz wenig Licht zu einer Wahrnehmung führen. Die Stäbchen sind somit zwar lichtempfindlicher, die räumliche Summation bringt jedoch den Nachteil mit sich, dass die Stäbchen dadurch eine geringere Sehschärfe haben. Dies wird jedoch durch das zweite Rezeptorsystem der Zapfen ausgeglichen, denn die Zapfen haben aufgrund der geringeren Konvergenz eine größere Sehschärfe. Da in der Fovea nur Zapfen sind, ist dies der Punkt des schärfsten Sehens; Dinge die wir direkt ansehen, deren reflektierte Lichtstrahlen auf die Fovea fallen, sehen wir deshalb besonders scharf. Die Sehschärfe nimmt zur Netzhautperipherie hin deutlich ab.

Das Maß für die Sehschärfe ist der Visus, der Normalvisus beträgt 1. Dies bedeutet, dass eine Person mit einem entsprechenden Visus 100% Sehschärfe hat. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn sie zwei Punkte getrennt wahrnimmt, die unter einem Sehwinkel (α) von einer Minute ($1' = 1/60$ Grad) in das Auge einfallen. Der Visus berechnet sich als $1/\alpha$. Er ist größer als eins, wenn die Sehschärfe besser ist, als es der Norm entspricht. Die Sehschärfe des visuellen Systems kann relativ einfach durch Sehhilfen korrigiert werden. Die Stärker der zum Ausgleich benötigten Sehhilfe wird in Dioptrien angegeben.

Zur visuellen Erfassung der Umwelt ist die richtige Wahrnehmung der Entfernung, also der räumlichen Tiefe, von zentraler Bedeutung. Wahrnehmung räumlicher Tiefe kann sowohl monokular, also mit Informationen nur eines Auges, als auch binokular erfolgen. Der binokularen Tiefenwahrnehmung liegt der bei Erwachsenen durchschnittliche Augenabstand von 65 mm zugrunde. Aus dem Abstand beider Augen zueinander resultieren geringfügige Unterschiede in der Blickrichtung, die zwangsläufig Unterschiede in den beiden Netzhautbildern nach sich ziehen. Als erster erkannte Wheatstone (1838, zitiert nach Pieper und Ludwig) die Bedeutung dieser beidäugigen Bildverschiedenheit. Er stellte die Theorie auf, dass eben diese Bildverschiedenheit der beiden Augen die Grundlage unserer Tiefenwahrnehmung ist. Das visuelle System ist demnach in der Lage, zwei verschiedene Netzhautbilder zu einem Wahrnehmungsbild mit Tiefeneindruck zu verschmelzen. Wheatstone bestätigte seine Theorie durch das von ihm entwickelte Stereoskop. Mit Hilfe des

Stereoskops konnte er den beiden Augen von Versuchspersonen durch Spiegel zwei verschiedene Abbildungen darbieten, was zu einer Wahrnehmung räumlicher Tiefe führte. Für die Untersuchung der binokularen Tiefenwahrnehmung sind Zufallsstereogramme (random-dot stereograms) geeignet, da diese keine für die monokulare Tiefenwahrnehmung nutzbaren Informationen enthalten.

Die Fähigkeit Entfernungen zu einem Objekt wahrzunehmen basiert auf der Tatsache, dass Objekte, die gleich weit vom Beobachter entfernt sind, auf der Netzhaut an korrespondierenden Stellen ein Bild erzeugen. Sind Objekte unterschiedlich weit vom Betrachter entfernt führt dies zu Abbildungen auf unterschiedlichen Bereichen der Netzhäute.

Zur Erläuterung werden folgende Abbildungen betrachtet:

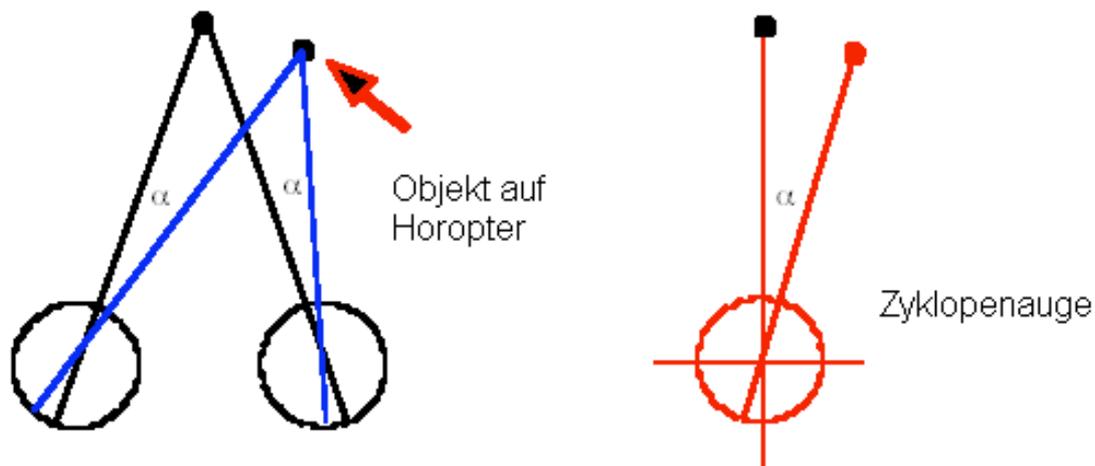


Abbildung 1.1: Links: Abbildung zweier gleich weit vom Betrachter entfernte Punkte auf der Netzhaut. Rechts: Überlagerung beider Augen. Es zeigt sich, dass beide Punkte auf korrespondierenden Stellen abgebildet werden

In der Abbildung links sind die Augenpaare des Beobachters skizziert, welcher mit beiden Augen einen Punkt bzw. Objekt fixiert. Der Winkel, der durch den Weg der Lichtstrahlen vom Punkt zum Auge gebildet wird, wird mit α bezeichnet. In gleicher Entfernung, auf dem Horopter, nimmt der Beobachter einen weiteren Punkt wahr. Auch hier wird der Winkel zwischen den Lichtstrahlen mit α bezeichnet, da er gleich groß ist wie der Winkel beim fixierten Objekt. Das Zyklopaugenmodell, bei dem beide Augen übereinander abgebildet sind, verdeutlicht dies noch einmal. Darüber hinaus sind die Bilder beider Augen deckungsgleich und somit werden die Objekte auf dem gleichen Bereich der Netzhaut im

jeweiligen Auge abgebildet. Die Objekte werden hier vom Betrachter im gleichen Abstand von ihm wahrgenommen.

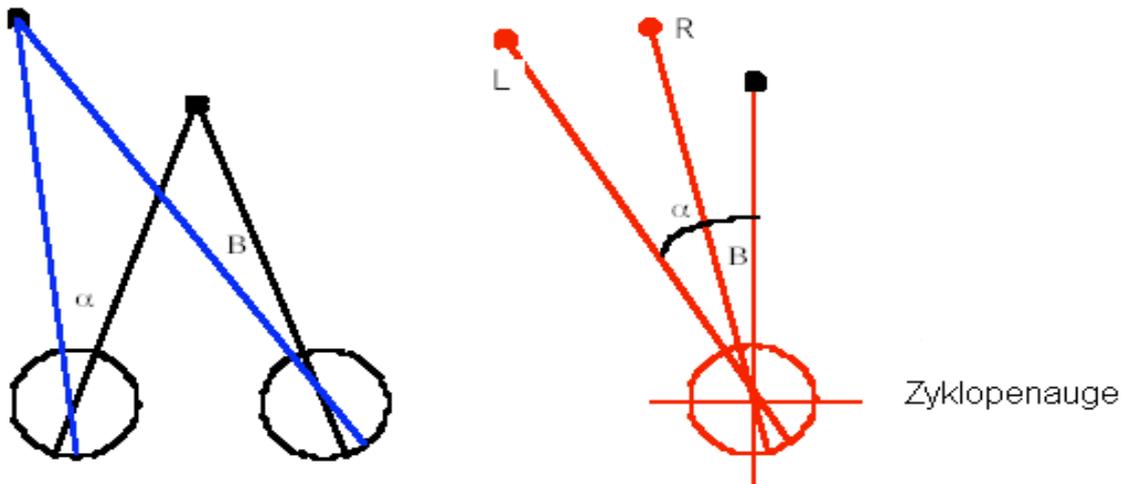


Abbildung 1.2: Links: Ein Objekt liegt vor dem vom Betrachter fixiertem Punkt. Rechts: Beide Auge überlagert dargestellt.

Auch in Abbildung 1.2 fixiert der Beobachter einen Punkt. Der Winkel zwischen den Lichtstrahlen ist mit α und B bezeichnet. Es ist bei Überlagerung der Skizzen deutlich zu erkennen, dass die Winkel zwar gleich groß sind, die Punkte jedoch auf verschiedenen Bereichen der Netzhaut abgebildet werden. Der hier skizzierte Fall, bei dem ein Objekt sich vor dem fixierten Punkt befindet, zeigt eine gekreuzte („crossed“) Querdysparation. Verschiebt man nun in Gedanken das nähere Objekt hinter das fixierte, so ist leicht zu erkennen, dass die auf der Netzhaut abgebildeten Punkte dem fixierten Punkt immer näher rücken, kurz identisch sind, um ihn dann zu überschreiten. Der Fall, bei dem ein Objekt hinter dem fixierten liegt, wird als ungekreuzte („uncrossed“) Querdysparation bezeichnet.

In der vorliegenden Untersuchung wurden den Versuchspersonen auf einem Computerbildschirm acht Quadrate dargeboten, welche sich vom Hintergrund abhoben, also den Versuchspersonen näher erschienen als der Hintergrund (oben beschriebener Fall b „crossed“). Eines dieser Quadrate erschien den Versuchspersonen noch näher als die anderen, welches von ihr zu identifizieren war.

Um diesen Effekt zu erzeugen, war es, wie oben gezeigt, notwendig, dem jeweiligen Auge der Versuchspersonen zwei verschiedene Bilder zu zeigen. Dies wurde erreicht, indem der Monitor abwechselnd die verschiedenen Bilder zeigte und die Versuchspersonen eine Shutter

Brille trugen, die dafür sorgte, dass das jeweilige Bild nur von einem Auge gesehen werden konnte. Der Kopf der Versuchspersonen wurde dabei fixiert, so dass sich der Abstand zum Monitor nicht veränderte und die Bilder auf der vorgesehenen Stelle der Netzhaut abgebildet wurden.

Die gezeigten Bilder mussten dabei die Bedingungen für den Fall der gekreuzten Disparation erfüllen. Dies bedeutete im Einzelnen:

- 1) Zunächst wurde ein Zufallspunktmuster erzeugt, das erst einmal keine Tiefeninformationen enthielt. Dieses wurde in weiteren Schritten bearbeitet, um den gewünschten Effekt zu erzeugen.
- 2) Alle Bildpunkte, welche zum Hintergrund gehörten (dazu gehörte das in der Mitte des Bildschirms liegende Kreuz), mussten in beiden Bildern an der gleichen Stelle liegen. Somit wurden diese von den Versuchspersonen dem Horopter zugeordnet und als Hintergrund wahrgenommen.
- 3) Alle Bildpunkte, die zu den sieben Quadraten gehörten, wurden für das Bild des rechten Auges nach links, und für das linke Auge nach rechts verschoben dargestellt.

Beispiel:

Bildzeile linkes Auge:

xxxxxxBxxx

Bildzeile rechtes Auge:

xxxBxxxxxx

„x“ waren hierbei Bildpunkte des Hintergrundes

- 4) Alle Bildpunkte, die zu dem Quadrat gehörten, welches sich noch weiter abheben sollte, mußten stärker gegeneinander verschoben werden.

Beispiel:

Bildzeile linkes Auge:

xxxxxxxBxx

Bildzeile rechtes Auge:

xxBxxxxxxx

Die auf diesen Grundlagen entwickelten Bilder erzeugten, durch die Shutter Brille betrachtet, den gewünschten dreidimensionalen Effekt, der die Untersuchungen ermöglichte.

Implizites Lernen geschieht unbewusst und ohne Rückgriff auf analytische Verfahren. Im Gegensatz dazu steht das explizite oder deklarative Lernen, welches bewusst abläuft und eher der Wissensaufnahme oder -präsentation dient. Eine Form des impliziten Lernens ist das Wahrnehmungslernen, bei dem durch Übung die Wahrnehmungsleistung verbessert werden kann. Die Verbesserung der Wahrnehmungsleistung beschränkt sich nicht nur auf die erste Phase der menschlichen Entwicklung, sie kann über das Säuglings- und Kleinkindstadium hinaus nachgewiesen werden. Bei Untersuchungen an Erwachsenen zeigten sich im Zusammenhang mit der nachgewiesenen Fähigkeit zum Wahrnehmungslernen Veränderungen der elektrischen Hirnaktivität, sowie plastische Veränderungen des ZNS (Ludwig und Skrandies, 2002).

In der Vergangenheit haben verschiedene Studien nachgewiesen, dass sich die Fähigkeit zur Wahrnehmung visueller Reize im schwellennahen Bereich mit zunehmender Übung verbessert. So sinkt die Schwelle zur Wahrnehmung foveal präsentierter Stimuli durch das Wahrnehmungslernen deutlich ab (Skrandies und Fahle, 1994). Darüber hinaus konnte eine verbesserte Wahrnehmung der peripheren Sehschärfe (Bread et al., 1995; Saugstad und Lie, 1964, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002), der visuellen Unterscheidungsfähigkeit (Shiu und Pashler, 1992; Vogels und Orban, 1985, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002) sowie der Textursegmentation (Karni und Sagi, 1993; Sireteanu und Rettenbach, 1996, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002) nachgewiesen werden.

Des Weiteren zeigte sich ein Herabsinken der Wahrnehmungsschwelle bei visueller Suche (Nakayama und Mackeben, 1989; Treisman und Gelade, 1980, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002), bei der Entdeckung eingebetteter Figuren (Ludwig und Pieper, 1999, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002) und bei der Wahrnehmung dreidimensionaler Stimuli (Skrandies und Jedynek, 1999, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002).

Die Verbesserung im Wahrnehmen von dreidimensionalen Reizen wurde anhand von dreidimensionalen Balken, die sich auf vier verschiedene Arten hinsichtlich ihrer Ausrichtung (vertikal oder horizontal) und ihrer Ortsfrequenz unterschieden, nachgewiesen (Skrandies und Jedynek, 1999).

Im Zuge der vorliegenden Studie wird erwartet, dass sich das implizite Wahrnehmungslernen auch bei anderen dreidimensionalen Stimuli zeigt. Als Stimuli dienen in dieser Studie dreidimensional dargebotene Quadrate. Die Hypothese, dass sich ein Herabsinken der Wahrnehmungsschwelle, somit ein Lernen durch Übung bei dreidimensionalen Quadraten als Stimuli, soll bestätigt werden.

Die Forschung der Vergangenheit konnte über den Nachweis des Wahrnehmungslernens hinaus zeigen, dass eben dieses Lernen nicht generalisierbar ist. Es wurde herausgefunden, dass ein Lernerfolg bei einem bestimmten Stimulus, spezifisch für diesen ist. So zeigte sich beim Training mit Nonius-Reizen ein Lernerfolg, wurden die Reize hingegen um neunzig Grad gedreht, so konnte der Lernerfolg nicht transferiert werden, beim nicht trainierten gedrehten Stimulus zeigte sich also keine Verbesserung (Skrandies, Jedyak und Fahle, 2001).

Mit dieser Studie soll nachgewiesen werden, dass die Stimuluspezifität des Lernens auch bei dreidimensionalen Stimuli gilt. Zum Nachweis der Hypothese, dass auch das Lernen dreidimensionaler Reize stimuluspezifisch ist, werden den Versuchspersonen zwei in ihrer Exzentrizität variierende Reize dargeboten. Es erfolgen jeweils acht Trainingsdurchgänge, á 40 Reizdarbietungen, mit Reizen einer bestimmten Exzentrizität, wobei sich der oben genannten Hypothese nach ein Lernerfolg einstellen sollte. Vor und nach diesen acht Trainingsdurchgängen, die jeweils etwa 2 Minuten dauern, erfolgt jeweils ein Kontrolldurchgang mit Reizen, die sich in ihrer Exzentrizität von den trainierten Reizen unterscheiden. Zum Nachweis der Stimuluspezifität sollte sich jedoch lediglich bei den trainierten Reizen ein Lernerfolg zeigen. Eine verbesserte Wahrnehmungsleistung zwischen dem ersten Kontrolldurchgang, vor dem Training, sowie dem zweiten nach dem Training, wird hingegen nicht erwartet, dies würde der Hypothese widersprechen. In diesem Fall könnte der Leistungszuwachs im Training durch andere Faktoren, wie beispielsweise eine Gewöhnung an den Versuchsaufbau, oder eine Abnahme von anfänglicher Unruhe, nicht aber durch implizites Lernen hervorgerufen worden sein.

Neben diesen beiden Fragen soll diese Untersuchung zusätzlich beantworten, ob das Wahrnehmungslernen an den Ort des Reizes im Gesichtsfeld gebunden ist. Die Sehschärfe nimmt mit zunehmender Entfernung zur Fovea ab. Somit sollten Reize, die näher der Fovea dargeboten werden, besser wahrgenommen werden, als solche, die im Gesichtsfeld peripherer präsentiert werden. Um die Hypothese zu bestätigen, dass der Lernerfolg vom Ort des Reizes im Gesichtsfeld abhängig ist, werden die Versuchspersonen in zwei Gruppen aufgeteilt. Die eine Hälfte der Versuchspersonen trainiert mit Reizen einer kleinen Exzentrizität, das heißt solchen, die näher an der Fovea sind und somit besser erkannt werden sollten; die andere Hälfte der Versuchspersonen hingegen trainiert mit Reizen einer größeren Exzentrizität, also solchen, die peripherer im Gesichtsfeld liegen. Gemäß der Hypothese wird erwartet, dass sich in der Gruppe, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert, ein größerer Lernerfolg einstellt, als in der anderen Gruppe.

Über die Bestätigung der Hypothesen hinaus, erscheint die Frage von Interesse, ob die Faktoren Geschlecht, Alter und Visus einen Einfluss auf den Lernerfolg nehmen.

2. Methodik

2.1 Versuchspersonen:

Die vorliegende Untersuchung wurde an 28 Versuchspersonen, darunter 24 weiblichen und 4 männlichen, durchgeführt. Gegen Vergabe von zwei, im Rahmen des Grundstudiums der Psychologie benötigten Versuchspersonenstunden, nahmen 26 der Versuchspersonen teil. Für ihre freiwillige Teilnahme an der Untersuchung erhielten zwei Elektrotechnikstudenten keinerlei Entlohnung.

Die Versuchspersonen waren im Alter zwischen 19 und 43 Jahren, der Mittelwert betrug 23.4 Jahre (SD = 5.0). Eine Sehhilfe zur Korrektur der Sehkraft, die während des Versuches getragen wurde, benötigten 16 der Versuchspersonen. Die Dioptrien lagen für das rechte Auge im Bereich zwischen -6.50 und +2.75 mit einem Mittelwert von -1.1 (SD = 2.7), für das linke Auge lagen sie zwischen -6.50 und +3.0 mit einem Mittelwert von -1,1 (SD = 2.5). Der Visus beider Augen lag zwischen 1.25 und 2.00 mit einem Mittelwert von 1.72. Für das rechte, wie auch das linke Auge lag der Visus zwischen 1.00 und 2.00 mit einem Mittel von 1.47 beziehungsweise 1.49. Die Disparität lag sowohl bei crossed, als auch bei uncrossed im Bereich zwischen 15`` und 60``, für crossed ergab sich ein Mittel von 44.5``, das Mittel für uncrossed lag bei 37.5``.

Bei einer Schwelle oberhalb 60`` wurde eine Person von der Untersuchung mit stereoskopischen Reizen ausgeschlossen. Versuchspersonen mit einem Visus unter 0.8 waren für die Untersuchung ebenfalls nicht geeignet.

Unter den Versuchspersonen befanden sich 3 Linkshänder und 7 mit einer Präferenz für das linke Auge.

2.2 Material und Durchführung:

Vor Beginn des Versuches wurde der Visus (Polatest: Landolt Ringe) und die Schwelle des stereoskopischen Sehens (TNO Test für stereoskopisches Sehen) der Versuchsperson bestimmt. Anschließend wurde die Person gebeten, einen Fragebogen mit persönlichen Angaben über Alter, Geschlecht, Studienfach, chronische Krankheiten, Augenoperationen, eventuell benötigte Sehhilfen und Dioptrien auszufüllen. Dieser Fragebogen beinhaltete weiterhin Fragen zur Händigkeit nach dem Oldfield Handedness Inventory (Oldfield, 1971), sowie nach der Augenpräferenz.

Zum Versuch musste sich die Versuchsperson in einen getrennten, abgedunkelten Raum begeben, wo ihr auf einem Bildschirm die Reize dargeboten wurden. Dort erhielt die Versuchsperson die Instruktionen, nachdem sie diese gelesen hatte, stand die Versuchsleiterin für weitere noch offene Fragen zum Versuch zur Verfügung. Sobald die Versuchsperson über den Ablauf des Versuches informiert war, stellte sie sich den Stuhl, sowie den Tisch, auf dem sich der Reaktionsschalter mit 8 Tasten und eine Kopfstütze in einer festen Position befanden, mit Hilfe der Versuchsleiterin in eine bequeme Sitzposition ein. Die Versuchsperson wurden darauf hingewiesen, den Tisch nicht in seiner Position zu verschieben, um sicher zu sein, dass der Abstand zum Bildschirm immer 110 cm betrug. Die konstante Beibehaltung des Abstandes der Augen zum Bildschirm wurde durch die starre Kopfstütze gewährleistet.

Der Bildschirm, ein Elsa Ecomo 24H96 Monitor, auf dem der Versuchsperson die Reize dargeboten wurden, wurde von einem Windows PC gesteuert. Die bereits beschriebenen Zufallsstereogramme dienten bei der Untersuchung als Reize. Mit Hilfe einer elektronischen Shutter-Brille, die jedes zweite Bild nur einem Auge präsentierte und mit der Bildfrequenz des Monitors synchronisiert wurde, konnte die Versuchsperson die dichoptischen Reize wahrnehmen.

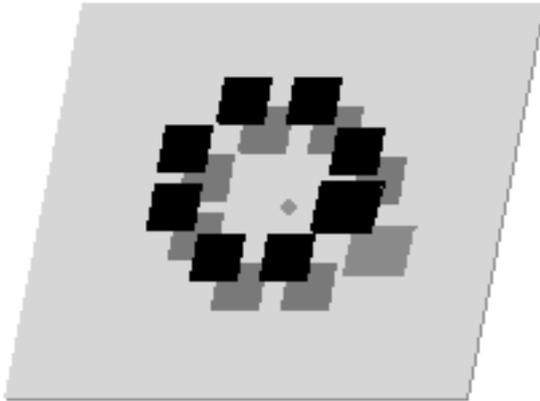


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des stereoskopischen Reizes

Wie in Abbildung 2.1 zu sehen, bestanden die Reize aus acht dreidimensionalen Quadraten, die rund um einen zentralen Punkt angeordnet waren. Die Reize waren nur während einer vorbestimmten Präsentationsdauer, die zwischen 112 ms (8 frames) und 616 ms (44 frames) variierte, zu sehen. Die Versuchspersonen wurde dazu angehalten während der Reizdarbietungen den zentralen Punkt zu fixieren. Sobald der Reiz erschien, waren alle acht stereoskopischen Quadrate zu sehen, wobei alle „crossed“ erschienen, eines dem Betrachter jedoch näher erschien, als die anderen sieben Quadrate.

Die Disparität der Quadrate behielt während eines Durchganges immer den gleichen Wert bei. Der zentrale Fixationspunkt war während der Durchgänge kontinuierlich zu sehen. Der Punkt hatte einen Disparitätswert von Null und eine Größe von $15'$.

Die Versuchsperson musste nun das Quadrat erkennen, welches sich von den anderen abhob und die entsprechenden Taste des Reaktionspultes betätigen. Die acht Tasten des Reaktionspultes waren analog der acht stereoskopischen Quadrate des Reizes angeordnet. Jedem der Quadrate des Reizes war eine Taste auf dem Reaktionspult zugeordnet. Die Position des zu erkennenden Zielquadrates variierte während der aus 40 Reizdarbietungen bestehenden Durchgänge. In jedem Durchgang trat jedoch jedes der Quadrate genau fünf Mal als das zu erkennende Zielquadrat auf. Insgesamt bestand der Versuch immer aus 10 Durchgängen der 40 Reizdarbietungen. Ein Durchgang dauerte etwa 2-3 Minuten, woraus sich eine Gesamtversuchszeit von durchschnittlich 20-30 Minuten ergab. Der erste und der letzte dienten jeweils als Kontrolldurchgang, die mittleren acht dienten als

Trainingsdurchgänge, wobei sich die Gruppe der Versuchspersonen hier in zwei verschiedene Bedingungen aufteilte.

Bei der ersten Bedingung, die insgesamt 13 Versuchspersonen einschließt, wurden den Versuchspersonen in den Kontrolldurchgängen Quadrate großer Exzentrizität und in den Trainingsdurchgängen Quadrate kleiner Exzentrizität dargeboten. Den übrigen 15 Versuchspersonen hingegen wurden in den Kontrolldurchgängen Quadrate kleiner Exzentrizität und in den Trainingsdurchgängen Quadrate großer Exzentrizität dargeboten. Die Kantenlänge der Quadrate kleiner Exzentrizität mit einem Pixelwert von 110 betrug 22.02 mm, die Kantenlänge der Quadrate großer Exzentrizität mit einem Pixelwert von 220 betrug 44.04 mm. Die Quadrate kleiner Exzentrizität hatten einen Sehwinkelgrad von $1^{\circ}8'49''$, der Sehwinkelgrad der Quadrate großer Exzentrizität betrug $2^{\circ}17'34''$. Die mittlere Leuchtdichte des Reizfeldes betrug durch die Shutter-Brille 6.5 cd/m, mit einem Kontrast von 95.1% zwischen schwarzen und weißen Punkten.

Getestet wurden die Versuchspersonen jeweils mit einer Einstellung der Disparität und der Präsentationsdauer, bei der sie in vorherigen Probedurchgängen jeweils zwischen 44%-65% richtiger Reaktionen zeigten. Diese Einstellung war notwendig um so zu gewährleisten, dass eine Steigerung der richtigen Reaktionen durch Lernen noch möglich war. Die Versuchspersonen wurden darauf hingewiesen, dass es nicht eine schnelle Reaktion, sondern vielmehr um eine möglichst richtige Reaktion von Bedeutung war. Die Darbietung eines neuen Reizes wurde von den Versuchspersonen durch die Reaktion auf den vorherigen Reiz bestimmt.

Um Verfälschungen der Ergebnisse durch Ermüdung möglichst zu vermeiden, wurden die Versuchspersonen zu regelmäßigen Pausen von wenigen Minuten zwischen den Darbietungen aufgefordert. Nach der Hälfte der Trainingsdurchgänge wurden sie um das Verlassen des Versuchsraumes gebeten, um die Augen einige Minuten am Tageslicht zu entspannen.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden mit dem Statistikprogramm SPSS Version 11.5 errechnet.

3.1 Ergebnisse aller Versuchspersonen mit stereoskopischen Reizen

Als Lernerfolg wird eine Verbesserung der Leistung im letzten Trainingdurchgang, verglichen mit dem ersten Trainingdurchgang betrachtet. Insgesamt konnte bei 14 der 28 Versuchspersonen ein Lernerfolg von mehr als 10 % festgestellt werden, was bedeutet, dass sich ihre Wahrnehmungsleistung nach dem etwa 20 Minuten langen Training um mindestens 10%, verglichen mit dem zu Anfang untrainierten Zustand, verbessert hat. Eine Verbesserung um mehr als 20% zeigten insgesamt 8 der Versuchspersonen; um mehr als 25% konnten lediglich 5 der Versuchspersonen ihre Leistung verbessern.

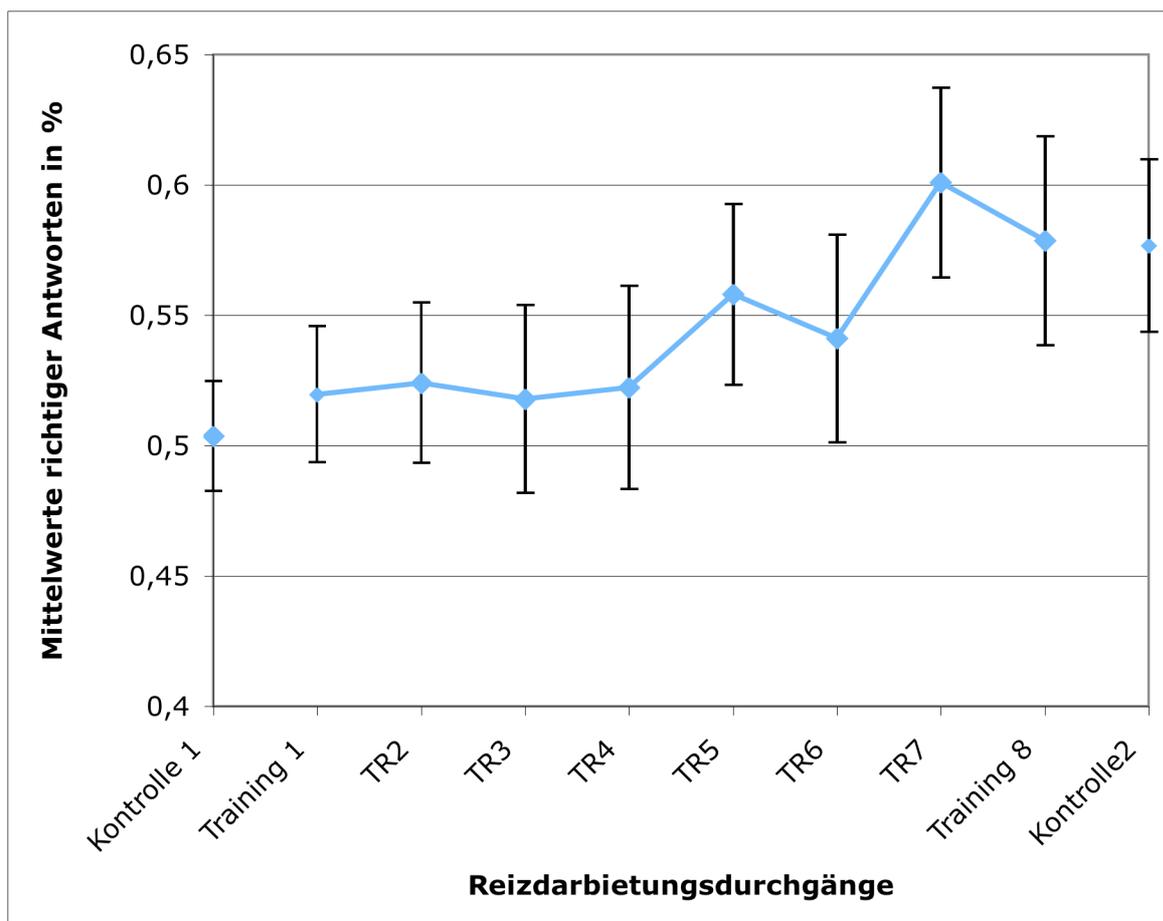


Abbildung 3.1: Mittelwerte richtiger Antworten aller Versuchspersonen in den Kontrolldurchgängen und in den Trainingdurchgängen; sowie jeweilige Standardabweichungen der Mittelwerte

Die in Abbildung 3.1 dargestellte Lernkurve zeigt die Mittelwerte richtiger Antworten aller Versuchspersonen in allen Reizdarbietungsdurchgängen. Die Y-Achse zeigt dabei jeweils die Mittelwerte in Prozent, auf der X-Achse sind die beiden Kontrolldurchgänge, also die Darbietung untrainierter Reize am Anfang und am Ende, sowie die acht Trainingsdurchgänge zu sehen. Beim Vergleich der beiden Kontrolldurchgänge zeigt sich eine deutliche Leistungsverbesserung von .50 auf .58, es handelt sich dabei um eine durchschnittliche Verbesserung um 8%. Auch beim Blick auf die Trainingsdurchgänge lässt sich eine Verbesserung erkennen. Im ersten Trainingsdurchgang ist eine durchschnittliche Leistung von .52 zu erkennen, diese verbessert sich in den folgenden Durchgängen stetig und erreicht im siebten Trainingsdurchgang den Maximalwert von .60. Die durchschnittliche Leistung im achten Trainingsdurchgang liegt mit .58 knapp unterhalb des Maximalwertes. Neben den Mittelwerten richtiger Antworten, sind in Abbildung 3.1 die jeweiligen Standardabweichungen der Mittelwerte als Fehlerbalken dargestellt. Diese ergeben sich aus der Standardabweichung geteilt durch die Wurzel aller Versuchspersonen der Stichprobe.

Um die Hypothese zu bestätigen, dass sich ein Herabsinken der Wahrnehmungsschwelle, somit ein Lernerfolg durch Übung bei den in dieser Studie als Stimuli verwendeten dreidimensionalen Quadraten einstellt, wurde ein zweiseitiger T-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Die gepaarten Variablen stellten bei diesem T-Test, der die Werte aller Versuchspersonen der Stichprobe einschloss, die Mittelwerte richtiger Antworten im ersten und im letzten Trainingsdurchgang, sowie den beiden Kontrolldurchgängen, vor und nach der Trainingsphase, dar. Der Vergleich der Mittelwerte im ersten Durchgang der Trainingsreize sowie im letzten Durchgang der Trainingsreize zeigt keine signifikante Verbesserung: $t(27) = -1.591$ ($p = .123$). Der Mittelwert richtiger Antworten im ersten Trainingsdurchgang betrug .52, im letzten Trainingsdurchgang lag er bei .58. Der Zusammenhang zwischen dem Training der Reize und einer Verbesserung im Erkennen der trainierten Reize, konnte durch den T-Test nicht als signifikant bestätigt werden, denn der Mittelwert richtiger Antworten im letzten Trainingsdurchgang hat sich gegenüber dem im ersten Trainingsdurchgang nicht signifikant verbessert. Wurde beim zweiseitigen T-Test für gepaarte Stichproben allerdings der letzte Trainingsdurchgang außer Acht gelassen, so zeigte sich ein anderes Resultat. Beim Vergleich der Mittelwerte des ersten Trainingsdurchgangs mit denen des vorletzten Trainingsdurchgangs, ergab sich eine signifikante Verbesserung: $t(27) = -2.070$ ($p = .048$).

Der Mittelwert des vorletzten Trainingsdurchgangs betrug .6.

Es zeigte sich bei diesem Vergleich also ein signifikanter, durch das Training beeinflusster, Lernerfolg. Die Hypothese, dass das Training mit dreidimensionalen Quadraten als Stimuli zu einem Absinken der Wahrnehmungsschwelle und damit einhergehend zu einer verbesserten Leistung führt, kann durch den T-Test, bei Außerachtlassung des letzten Trainingsdurchgangs bestätigt, werden.

Beim Vergleich der Mittelwerte der beiden Kontrolldurchgänge, vor und nach der Trainingsphase, der ebenfalls mittels des zweiseitigen T-Tests für gepaarte Stichproben durchgeführt wurde, zeigte sich eine signifikante Verbesserung: $t(27) = -2.181$ ($p = .038$). Der Mittelwert des ersten Kontrolldurchgangs lag bei .5, der des zweiten bei .58. Die Kontrolldurchgänge, die jeweils mit Reizen einer Exzentrizität durchgeführt wurden, die zu der in den Trainingsdurchgängen variierte, stellen den untrainierten Reiz dar. Aus dem T-Test ergab sich somit eine Leistungsverbesserung im zweiten Durchgang untrainierter Reize nach der Trainingsphase, verglichen mit dem ersten Durchgang untrainierter Reize vor der Trainingsphase. Dieses Absinken der Wahrnehmungsschwelle bei den untrainierten Reizen ist nicht konform mit der Hypothese, dass das Lernen stimuluspezifisch ist. Es zeigte sich ein Transfer des Lernens vom trainierten Reiz auf den untrainierten Reiz.

Die Hypothesen, dass es durch Training zu einer verbesserten Wahrnehmung und somit zu einem Absinken der Wahrnehmungsschwelle für dreidimensionale Reize kommt sowie dass dieses Wahrnehmungslernen spezifisch für den trainierten Stimulus ist, sollte außerdem durch eine 2 x 2 faktorielle Varianzanalyse bestätigt werden. Die Faktoren waren hierbei die Reizart (Trainingsreiz vs. Kontrollreiz) und der Zeitpunkt (erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang vs. zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang). Der Lernerfolg, also die Differenz zwischen dem Mittelwert richtiger Antworten im ersten und im letzten Trainingsdurchgang, war die abhängige Variable.

Es zeigte sich kein signifikanter Effekt des Faktors Zeit auf den Lernerfolg: $F(1/27) = 5.620$ ($p = .25$). Dies kann die Hypothese, dass es durch wiederholtes Üben zu einer Verbesserung der Leistung, und somit zu einem Anstieg des Lernerfolgs kommt, nicht bestätigen.

Darüber hinaus kann keine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor Reizart in Kontrolle und Training und den Zeitpunkten erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang und zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang festgestellt werden: $F(1/27) = .107$ ($p = .746$). Die Hypothese, dass das Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist, kann somit durch die 2 x 2 faktorielle Varianzanalyse nicht bestätigt werden.

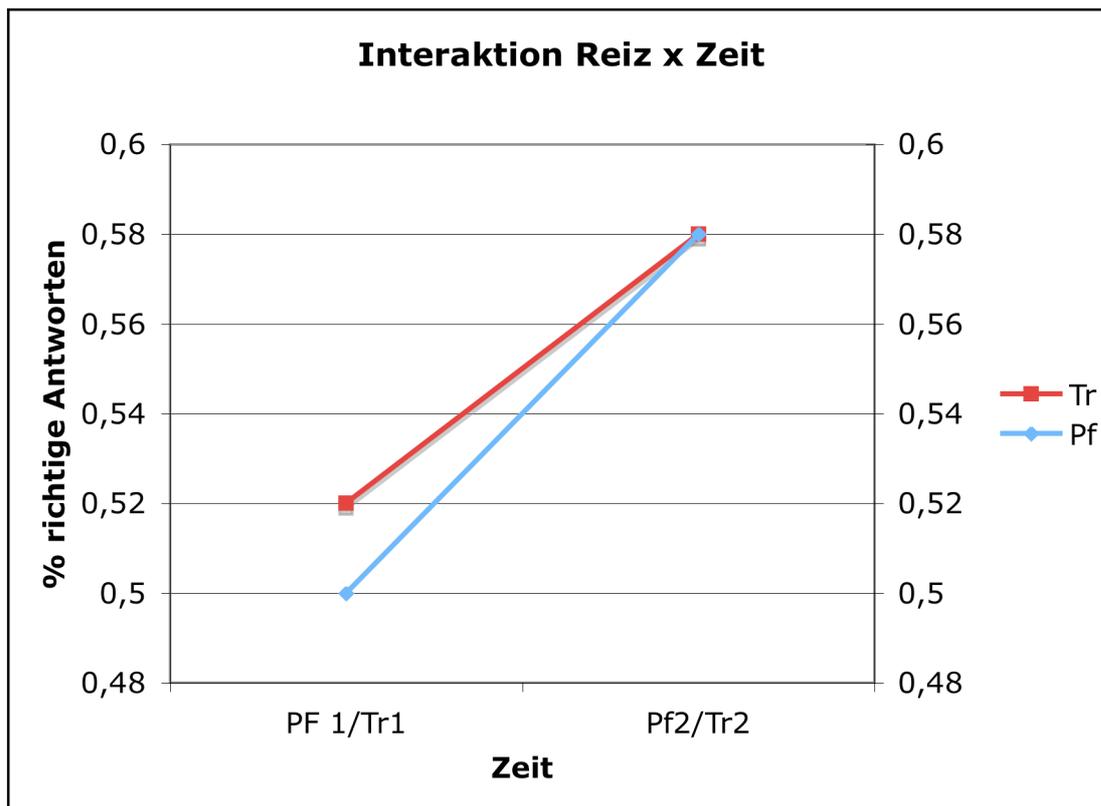


Abbildung 3.2: Durchschnittlicher Lernerfolg aller Versuchspersonen in Abhängigkeit der Reizart (Training vs. Kontrolle) und des Zeitpunktes (erster Kontroll-/Trainingsdurchgang vs. zweiter Kontrollldurchgang bzw. achter Trainingsdurchgang)

Die in Abbildung 3.2 graphisch dargestellte Interaktion zwischen dem Faktor Reizart in Kontrolle und Training und den Zeitpunkten erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang und zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang zeigt für beide Reizarten einen deutlichen Effekt der Zeit. Sowohl zwischen den beiden Messungen untrainierter Reize wie auch zwischen der ersten und der letzten Messung der trainierten Reize ist eine Leistungsverbesserung über den Zeitverlauf zu verzeichnen. Dies bestätigt zwar die Hypothese, dass es durch wiederholtes Üben zu einer Verbesserung der Wahrnehmungsleistung kommt, widerspricht jedoch der Hypothese der Stimulusspezifität. Der Lerneffekt ist nicht spezifisch für den trainierten Reiz, er hat sich auch auf den nicht trainierten Kontrollreiz übertragen.

Bei der Untersuchung ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Alter und dem Lernerfolg ($r = -.132$ ($p = .502$)), zwischen dem Geschlecht und dem Lernerfolg ($r = .278$ ($p = .469$)) wie auch zwischen dem Visus und dem Lernerfolg ($r = .085$ ($p = .668$)). Es konnte somit kein Zusammenhang zwischen den Faktoren Geschlecht, Alter sowie Visus, mit dem Lernerfolg nachgewiesen werden.

3.2 Ergebnisse der Versuchspersonen mit Quadraten kleiner Exzentrizität im Training

Ein Lernerfolg, also eine verbesserte Leistung um mindestens 10% nach dem Training, hat sich in dieser Gruppe bei 9 der 13 Versuchspersonen eingestellt. Um mehr als 20% verbesserten sich 5, um mehr als 25% verbesserten sich 3 der Versuchspersonen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert hatten.

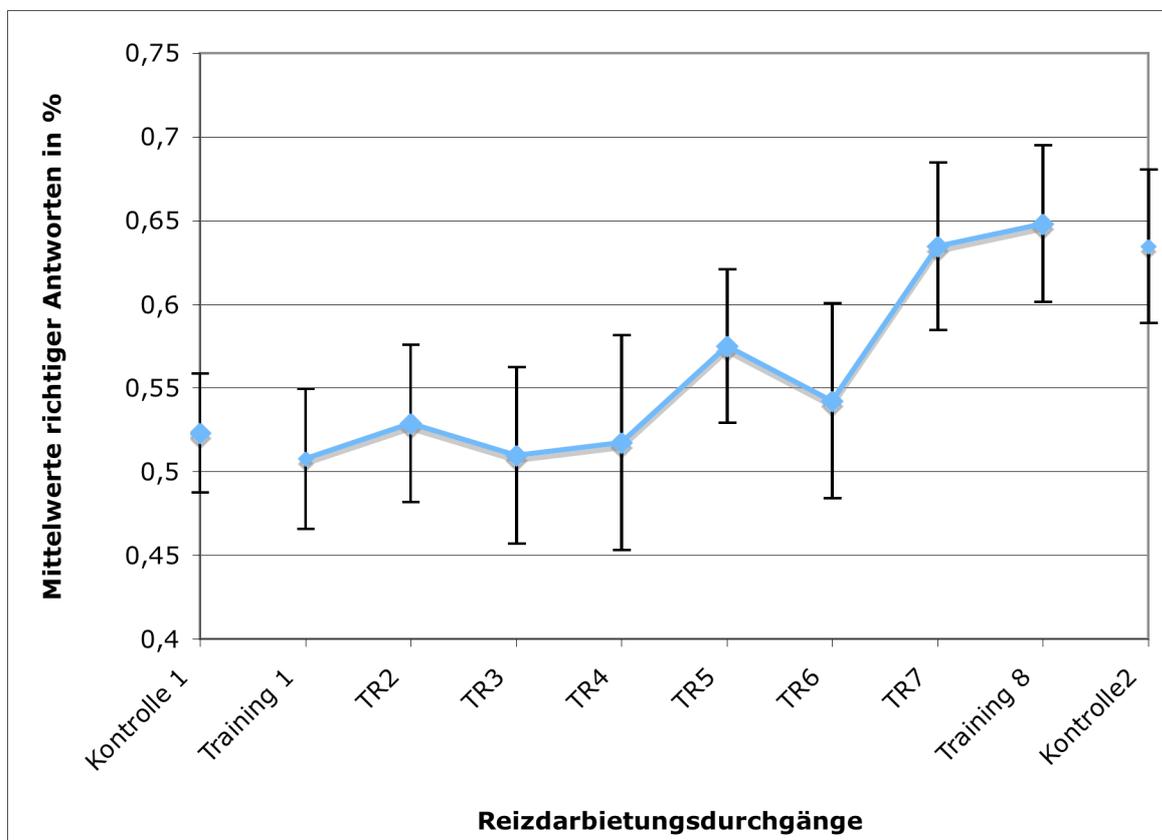


Abbildung 3.3: Mittelwerte richtiger Antworten in den Kontrolldurchgängen und in den Trainingsdurchgängen aller Versuchspersonen mit Reizen kleiner Exzentrizität in der Trainingsphase

Die in Abbildung 3.3 dargestellte Lernkurve zeigt die Mittelwerte richtiger Antworten aller Versuchspersonen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert wurden, in allen Reizdarbietungsdurchgängen. Die Y-Achse zeigt dabei jeweils die Mittelwerte in Prozent, auf der X-Achse sind die beiden Kontrolldurchgänge, also die Darbietung untrainierter Reize am Anfang und am Ende, sowie die acht Trainingsdurchgänge zu sehen. Beim Vergleich der beiden Kontrolldurchgänge zeigt sich eine deutliche Leistungsverbesserung von .52 auf .63, es handelt sich dabei um eine durchschnittliche Verbesserung um 11%. Auch beim Blick auf die Trainingsdurchgänge lässt sich eine Verbesserung erkennen. Im ersten Trainingsdurchgang ist eine durchschnittliche Leistung von .51 zu erkennen, die sich bis zu ihrem Maximalwert im achten Durchgang um 14% auf .65 verbessert. Neben den Mittelwerten richtiger Antworten, sind in Abbildung 3.3 die jeweiligen Standardabweichungen der Mittelwerte als Fehlerbalken dargestellt, welche sich aus der Standardabweichung geteilt durch die Wurzel aller Versuchspersonen der Stichprobe ergeben.

Es wurde ein zweiseitiger T-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt, der lediglich alle Werte der Versuchspersonen berücksichtigte, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert hatten, um die Hypothese zu bestätigen, dass sich ein Herabsinken der Wahrnehmungsschwelle, somit ein Lernerfolg durch Übung, einstellt. Die Mittelwerte richtiger Antworten im ersten, wie im letzten Trainingsdurchgang und die Mittelwerte richtiger Antworten in den beiden Kontrolldurchgängen mit untrainierten Reizen, stellten die gepaarten Variablen dar.

Der Vergleich der Mittelwerte im ersten Durchgang der Trainingsreize, sowie im letzten Durchgang der Trainingsreize zeigte eine signifikante Verbesserung: $t(12) = -3.681$ ($p = .003$). Der Mittelwert im ersten Trainingsdurchgang lag bei .51, der im letzten bei .65.

Eine ebenfalls signifikante Verbesserung zeigte sich beim Vergleich der Mittelwerte im ersten Durchgang der Trainingsreize sowie im vorletzten Durchgang der Trainingsreize, dessen Mittelwert bei .63 lag: $t(12) = -2.640$ ($p = .022$). Die Mittelwertvergleiche der richtigen Antworten zu Anfang des Trainings mit denen am Ende der Trainingsphase, zeigten eine signifikante, durch das Training beeinflusste Verbesserung der Wahrnehmungsleistung. Sie konnten somit die Hypothese bestätigen, dass das Training mit dreidimensionalen Quadraten als Stimuli zu einem Absinken der Wahrnehmungsschwelle und damit einhergehend zu einer verbesserten Leistung führt.

Ein Vergleich der Mittelwerte der beiden Kontrolldurchgänge der Versuchspersonen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert haben, zeigte eine signifikante Verbesserung:

$t(12) = -2.354$ ($p = .036$). Der Mittelwert des ersten Durchgangs untrainierter Reize lag bei .52, der des zweiten bei .63. Somit zeigte der Vergleich der Mittelwerte der untrainierten Reize, vor und nach der Trainingsphase, einen Transfer des Lernerfolgs bei den trainierten Reizen auf die untrainierten Reize. Die Hypothese, dass das Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist und nicht auf den untrainierten Reiz übertragen wird, konnte durch die Untersuchung der Versuchspersonen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert haben, nicht bestätigt werden.

Es wurde eine 2 x 2 faktorielle Varianzanalyse, unter ausschließlicher Berücksichtigung der Versuchspersonen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert wurden, gerechnet, um die Hypothese zu bestätigen, dass es durch Übung zum Wahrnehmungslernen kommt. Die Faktoren waren hierbei die Reizart (Trainingsreiz vs. Kontrollreiz) und der Zeitpunkt (erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang vs. zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang). Der Lernerfolg, also die Differenz zwischen dem Mittelwert richtiger Antworten im ersten und im letzten Trainingsdurchgang, war die abhängige Variable. Es zeigte sich ein signifikanter Effekt des Faktors Zeit auf den Lernerfolg: $F(1/12) = 15,200$ ($p = .002$).

Dies bestätigt die Hypothese, dass es durch wiederholtes Üben zu einer Verbesserung der Leistung, und somit zu einem Anstieg des Lernerfolgs kommt. Hingegen kann keine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor Reizart in Kontrolle und Training und den Zeitpunkten erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang und zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang festgestellt werden: $F(1/12) = .260$ ($p = .619$). Die Hypothese, dass das Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist, kann somit nicht bestätigt werden.

Bei der Untersuchung aller Versuchspersonen mit Reizen kleiner Exzentrizität im Training ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Alter und dem Lernerfolg ($r = -.023$ ($p = .940$)), zwischen dem Geschlecht und dem Lernerfolg ($r = .204$ ($p = .589$)), wie auch zwischen dem Visus und dem Lernerfolg ($r = -.153$ ($p = .618$)). Es konnte somit kein Zusammenhang zwischen den Faktoren Geschlecht, Alter sowie Visus, mit dem Lernerfolg nachgewiesen werden.

3.3 Ergebnisse der Versuchspersonen mit Quadraten großer Exzentrizität im Training

In der Gruppe der Versuchspersonen, die mit Quadraten großer Exzentrizität trainiert hatten, konnte eine Verbesserung von mehr als 10%, bei 5 der 15 Versuchspersonen festgestellt werden. Um mehr als 20% verbesserten sich 3, um mehr als 25% lediglich 2 der Versuchspersonen.

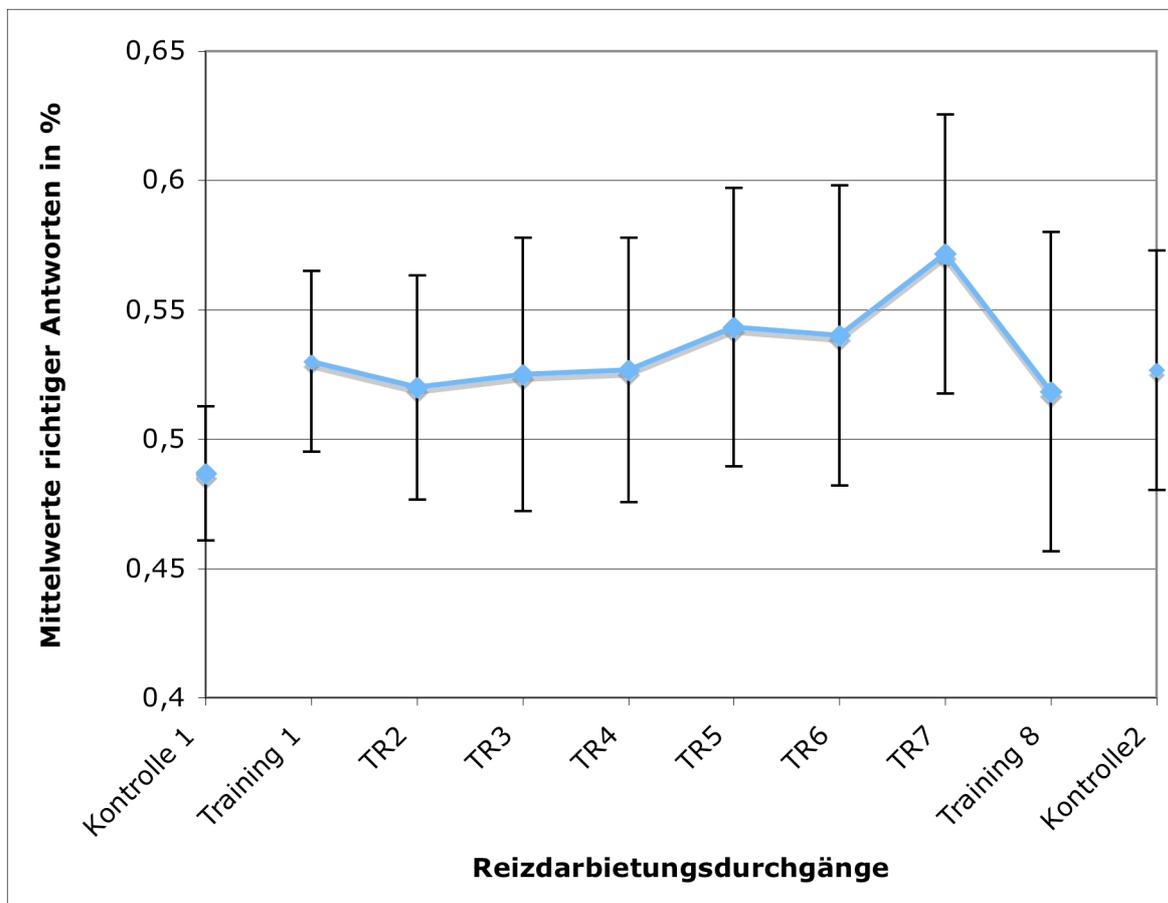


Abbildung 3.4: Mittelwerte richtiger Antworten aller Versuchspersonen in den Kontrolldurchgängen und in den Trainingsdurchgängen

Abbildung 3.4 zeigt die Mittelwerte richtiger Antworten aller Versuchspersonen, die mit Reizen großer Exzentrizität trainiert wurden, in den Kontroll- wie auch in den Trainingsdurchgängen. Zusätzlich zu den Mittelwerten sind die Standardabweichungen der Mittelwerte als Fehlerbalken dargestellt. Bei Betrachtung der Kontrolldurchgänge, zeigt sich

eine durchschnittliche Verbesserung um 6%, von .47 auf .53. Wie erwartet, zeigt sich anfänglich auch bei den trainierten Reizen eine Verbesserung, allerdings liegt der Mittelwert richtiger Antworten im letzten Durchgang mit .52 unterhalb vom dem, im ersten Trainingsdurchgang ermittelten, von .53.

Um die Hypothese zu bestätigen, dass sich ein Herabsinken der Wahrnehmungsschwelle, somit ein Lernerfolg durch Übung einstellt, wurde ein zweiseitiger T-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt, der lediglich alle Werte der Versuchspersonen berücksichtigte, die mit Reizen große Exzentrizität trainiert hatten. Die Mittelwerte richtiger Antworten im ersten wie im letzten Trainingsdurchgang und die Mittelwerte richtiger Antworten in den beiden Kontrolldurchgängen mit untrainierten Reizen stellten die gepaarten Variablen dar. Der Vergleich der Mittelwerte im ersten Durchgang der Trainingsreize sowie im letzten Durchgang der Trainingsreize zeigte keine signifikante Verbesserung: $t(14) = .210$ ($p = .837$). Der Mittelwert im ersten Trainingsdurchgang lag bei .53, der im letzten bei .52.

Auch die Außerachtlassung des letzten Durchgangs beim Vergleich der Mittelwerte der trainierten Reize, zeigte keine signifikante Verbesserung der Wahrnehmung durch das Training der Reize. Das Ergebnis des Vergleiches des Mittelwertes im ersten Trainingsdurchgang, mit dem im vorletzten Trainingsdurchgang, der bei .57 lag, zeigt kein signifikantes Ergebnis: $t(14) = -.696$ ($p = .498$).

Die Mittelwertvergleiche der richtigen Antworten zu Anfang des Trainings mit denen am Ende der Trainingsphase, zeigten keine signifikante, durch das Training beeinflusste Verbesserung der Wahrnehmungsleistung. Sie konnten somit die Hypothese nicht bestätigen, dass das Training mit dreidimensionalen Quadraten als Stimuli zu einem Absinken der Wahrnehmungsschwelle und damit einhergehend zu einer verbesserten Leistung führt.

Ein Vergleich der Mittelwerte der beiden Kontrolldurchgänge der Versuchspersonen, die mit Reizen großer Exzentrizität trainiert haben, zeigt keine signifikante Verbesserung:

$t(14) = -.849$ ($p = .410$). Der Mittelwert des ersten Durchgangs untrainierter Reize lag bei .49, der des zweiten bei .53.

Bei der Untersuchung der Versuchspersonen, die mit Reizen großer Exzentrizität trainiert haben, zeigt sich somit weder ein Lernerfolg bei den trainierten Reizen noch eine verbesserte Wahrnehmung der untrainierten Reize. Es kann durch die Untersuchung der Versuchspersonen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert haben, also weder die Hypothese bestätigt werden, dass es durch Training zu einer verbesserten Wahrnehmung und somit zu einem Absinken der Wahrnehmungsschwelle kommt noch dass das

Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist und nicht auf den untrainierten Reiz transferiert wird.

Es wurde eine 2 x 2 faktorielle Varianzanalyse, unter ausschließlicher Berücksichtigung der Versuchspersonen, die mit Reizen großer Exzentrizität trainiert wurden, gerechnet, um die Hypothese zu bestätigen, dass es durch Übung zum Wahrnehmungslernen kommt. Die Faktoren waren hierbei die Reizart (Trainingsreiz vs. Kontrollreiz) und der Zeitpunkt (erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang vs. zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang). Der Lernerfolg, also die Differenz zwischen dem Mittelwert richtiger Antworten im ersten und im letzten Trainingsdurchgang, war die abhängige Variable. Es zeigte sich kein signifikanter Effekt des Faktors Zeit auf den Lernerfolg: $F(1/14) = .125$ ($p = .729$).

Dies bestätigt nicht die Hypothese, dass es durch wiederholtes Üben zu einer Verbesserung der Leistung und somit zu einem Anstieg des Lernerfolgs kommt. Es kann ebenfalls keine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor Reizart in Kontrolle und Training und den Zeitpunkten erster Kontroll- bzw. Trainingsdurchgang und zweiter Kontroll- bzw. letzter Trainingsdurchgang festgestellt werden: $F(1/14) = .635$ ($p = .439$). Die Hypothese, dass das Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist, kann somit nicht bestätigt werden.

Bei der Untersuchung aller Versuchspersonen mit Reizen großer Exzentrizität im Training ergaben sich keine signifikanten Ergebnisse zwischen dem Alter und dem Lernerfolg ($r = -.355$ ($p = .195$)), zwischen dem Geschlecht und dem Lernerfolg ($r = -.308$ ($p = .290$)) wie auch zwischen dem Visus und dem Lernerfolg ($r = -.246$ ($p = .377$)). Es konnte somit kein Zusammenhang zwischen den Faktoren Geschlecht, Alter sowie Visus mit dem Lernerfolg nachgewiesen werden.

Um zu untersuchen, ob das Wahrnehmungslernen an den Ort des Reizes im Gesichtsfeld gebunden ist, wurde ein zweiseitiger T-Test für unabhängige Stichproben gerechnet. Dies sollte die Hypothese bestätigen, dass Reize, die näher an der Fovea dargeboten werden aufgrund der höheren Sehschärfe besser gelernt werden können als solche, die weiter entfernt der Fovea dargeboten werden. Zur Bestätigung der Hypothese müsste sich zeigen, dass die Versuchspersonen, welche mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert wurden einen höheren Lernerfolg hatten, als die Versuchspersonen mit Reizen großer Exzentrizität im Training.

Die Testvariablen im T-Test für unabhängige Stichproben war demnach der Lernerfolg, der die Differenz der Mittelwerte richtiger Reaktionen zwischen dem letzten und dem ersten Trainingsdurchgang darstellt. Die Gruppenvariablen waren die beiden Trainingsbedingungen; entsprechend entweder Reize kleiner oder großer Exzentrizität im Training.

Der T-Test bestätigt signifikant die Hypothese, dass das Wahrnehmungslernen abhängig vom Ort des Reizes im Gesichtsfeld ist $t(26) = 2.185$ ($p = .038$). Der mittlere Lernerfolg der 13 Versuchspersonen, die mit kleinen Reizen trainiert haben, beträgt 14 % ($M = .140$, $SD = .138$). Hingegen liegt er bei den 15 Personen mit großen Reizen im Training bei -1% ($M = .012$, $SD = .215$). Dieses Ergebnis bestätigt gemäß der Hypothese, dass sich in der Gruppe, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainiert, ein größerer Lernerfolg einstellt als in der anderen Gruppe.

4. Diskussion

Die vorliegende Untersuchung steht in der Nachfolge einer Reihe von Studien der Vergangenheit mit dem Thema Wahrnehmungslernen. In diesem Fall galt die Untersuchung explizit dem Wahrnehmungslernen bei dreidimensionalen Reizen. Es wurde untersucht, ob sich die Leistung im Wahrnehmen dreidimensionaler Reize durch Training verbessert, ob diese Verbesserung spezifisch für den trainierten Stimulus ist, oder ob sich auch eine Leistungsverbesserung bei nicht trainierten Stimuli zeigt und darüber hinaus, ob der Lernerfolg ortsspezifisch, also abhängig von der Exzentrizität des Reizes und somit abhängig vom Ort des Reizes im Gesichtsfeld ist.

Bei Betrachtung der Gesamtstichprobe aller Versuchspersonen mit stereoskopischen Reizen, wie auch bei der Teilstichprobe mit Reizen kleiner Exzentrizität im Training, wird die Hypothese, dass die Leistungen im Wahrnehmen von dreidimensionalen Reizen schon nach etwa 20 Minuten des Übens verbessert werden kann, bestätigt. Eine Leistungsverbesserung durch wiederholte Darbietungen visueller Reize konnte in der Vergangenheit bereits durch mehrere andere Studien gezeigt werden.

So zeigte sich eine verbesserte Wahrnehmung der peripheren Sehschärfe (Bread et al., 1995; Saugstad und Lie, 1964, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002). Auch für Textursegmentation (Karni und Sagi, 1993, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002) sowie die visuelle Unterscheidungsfähigkeit (Shiu und Pashler, 1992; Vogels und Orban, 1985, zitiert nach Ludwig und Skrandies, 2002) konnte nach wiederholtem Üben Wahrnehmungslernen festgestellt werden. Eine verbesserte Wahrnehmungsleistung bei

wiederholter Darbietung peripherere Reize zeigte sich auch bei Nonius-Reizen. So konnten Fahle et al. (1995) wie auch Christ el al. (1997) in ihren Untersuchungen Wahrnehmungslernen nachweisen. Die Zeitraum des Trainings in diesen Studien variierte, mit mehreren Tagen, beziehungsweise sogar mehreren Wochen, stark mit dem Trainingszeitraum der vorliegenden Studie. In der vorliegenden Studie wurde ein verbesserte Wahrnehmung von dreidimensionalen Reizen bereits nach weniger als einer halben Stunde nachgewiesen.

Julesz (1971) konnte durch sein Experiment zum ersten Mal das Phänomen des Wahrnehmungslernens an Zufallspunktstereogrammen nachweisen.

Die Verbesserung im Wahrnehmen von dreidimensionalen Balken, die sich auf vier verschiedene Arten hinsichtlich ihrer Ausrichtung (vertikal oder horizontal) und ihrer Ortsfrequenz unterschieden, wurde von Skrandies und Jedyak (1999) nachgewiesen.

In der vorliegenden Studie wurden den Versuchspersonen dreidimensionale Quadrate als Stimuli präsentiert. Hierbei zeigte sich lediglich bei 8 der 28 Versuchspersonen eine durch das Training hervorgerufene Verbesserung der Wahrnehmungsleistung um mehr als 25%. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Untersuchung von Skrandies und Jedyak (1999) mit dreidimensionalen Balken bei 9 von 16 Versuchspersonen eine Leistungsverbesserung um mehr als 25 %. Die den damaligen Versuchspersonen zum Lernen zur Verfügung stehende Zeit war mit 8 Minuten um 12 Minuten kürzer als in der vorliegenden Untersuchung. Gründe für den deutlich größeren Lernerfolg bei der Stichprobe, die eine deutlich kürzere Lernphase zur Verfügung hatte, können vielfältig sein. Da unsere tägliche Umwelt eher von länglichen horizontalen und vertikalen Formen, denn von quadratischen Formen geprägt ist, könnte es sein, dass den Versuchspersonen das Erkennen von horizontalen und vertikalen dreidimensionalen Balken als Stimuli leichter fällt als von dreidimensionalen quadratischen Stimuli. Einerseits könnte durch das möglicherweise bessere und schnellere Erkennen der horizontalen und vertikalen Balken die Wahrnehmungsleistung schneller gesteigert werden; andererseits könnte es sein, dass für das Wahrnehmen der quadratischen Stimuli ein gesteigertes Maß an Konzentration notwendig ist, weshalb es beim Training mit diesen Stimuli schneller und stärker zu Ermüdungserscheinungen kommt, die den geringeren Lernerfolg nach sich ziehen. Zwar wurden die Versuchspersonen zu regelmäßigen, wenige Minuten langen Pausen nach den Trainingsdurchgängen aufgefordert, jedoch könnten die Pausen nicht ausgereicht haben.

Die Hypothese zur Stimuluspezifität konnte durch die vorliegende Untersuchung nicht bestätigt werden. Im Zuge dieser Studie zeigte sich ein signifikanter Transfer des Lernens, die Wahrnehmung verbesserte sich also nicht nur beim trainierten Stimulus, sondern auch beim untrainierten Kontrollstimulus, der nach dem Training in einer anderen Exzentrizität folgte. Bei Untersuchungen mit Nonius-Reizen zeigte sich jedoch in der Vergangenheit, dass die verbesserte Wahrnehmungsleistung nicht auf untrainierte Stimuli übertragen wurde (Skrandies, Jedyak und Fahle, 2001).

Auch durch Untersuchungen mit dreidimensionalen Reizen konnte in der Vergangenheit eine Spezifität des Lernerfolgs für das Training mit Reizen auf bestimmten Regionen der Retina nachgewiesen werden, der sich nicht auf andere, untrainierte Regionen der Retina, transferierte. So berichtete Ramachandran (1976) über eine Stimuluspezifität des Lernerfolgs in seiner Studie. In seiner Untersuchung trainierten die Versuchspersonen zuerst mit dreidimensionalen Reizen an einer bestimmten Stelle auf der Retina, bis sich die Wahrnehmungsleistung für Reize auf diesem Punkt im Gesichtsfeldes merklich verbessert hat. Fortan wurde der Reiz an einer anderen Stelle im Gesichtsfeld dargeboten, woraufhin sich die Wahrnehmungsleistung spontan wieder auf den anfänglichen, untrainierten Wert verschlechterte. Nach einer Trainingsphase mit dem neuen Stimulus konnte erneut eine Verbesserung der Wahrnehmungsleistung festgestellt werden, wurde jedoch dann der ursprüngliche Stimulus auf der anderen Retinaposition präsentiert, so glich die Wahrnehmungsleistung erneut annähernd den Ursprungswerten zu Beginn des Versuches. Ramachandran führte seine Ergebnisse auf für den Lernprozess spezialisierte Gehirnareale, wie den visuellen Kortex, zurück. Auch Fahle (1993) interpretierte die Ergebnisse seiner Studie zur Stimuluspezifität beim Wahrnehmungslernen als einen Hinweis darauf, dass für den Lernprozess maßgeblich spezialisierte Gehirnareale, im Besonderen der visuelle Kortex, verantwortlich sind. Die Aufgabe der Versuchspersonen seiner Untersuchung bestand darin zu erkennen, welcher von zwei dreidimensional dargestellten Punkten näher erschien. Die Punkte waren dabei entweder nebeneinander auf horizontaler Ebene, oder aber untereinander auf vertikaler Ebene dargestellt, wobei die erste Hälfte des Trainings mit einer der beiden Darstellungsformen, die andere dann mit der entsprechend anderen Darstellungsform absolviert werden musste. Während der ersten Hälfte des Trainings zeigte sich bei den Versuchspersonen eine gesteigerte Wahrnehmungsleistung. Nachdem die Darstellungsform der Reize von der horizontalen auf die vertikale Ebene, oder aber umgekehrt von der vertikalen auf die horizontale Ebene gewechselt wurde, zeigte sich kein Transfer des zuvor beobachteten Wahrnehmungslernens.

Ein anderer Erklärungsansatz für die Stimuluspezifität des Wahrnehmungslernens resultiert aus der Untersuchung von O'Toole und Kersten (1992), in der ebenfalls eine Leistungssteigerung im Wahrnehmen dreidimensionaler Reize festgestellt werden konnte. So führten sie den Lerneffekt darauf zurück, dass sich bei der Versuchsperson während des Trainings eine selektive räumliche Aufmerksamkeit ausbildet, die sich lediglich auf den Bereich des Gesichtsfeldes beschränkt, in dem der Stimulus präsentiert wird. Dies hat bei der Präsentation eines an einer anderen Stelle im Gesichtsfeld befindlichen Stimulus automatisch eine Leistungsver schlechterung zur Folge, da die Aufmerksamkeit der Versuchsperson selektiv auf den ursprünglichen Ort des Stimulus gerichtet ist. Die Frage ob die Stimuluspezifität des Lernerfolgs auf Prozesse in höheren kortikalen Ebene, oder aber auf selektive räumliche Aufmerksamkeit zurückzuführen ist wurde durch die Studie von Swoden, Davies, Rose und Kaye (1996) aufgegriffen.

Bei dieser Untersuchung mussten die Versuchspersonen jeweils darüber urteilen, welches Quadrat in einem Paar von zwei dreidimensionalen Reizen räumlich näher erschien. Die Reize wurden während des Trainings jeweils gleich häufig an zwei verschiedenen Orten im Gesichtsfeld präsentiert, wobei an einem Ort der Reiz immer nur in gekreuzter Querdisparation („crossed“) oder nur in ungekreuzter Querdisparation („uncrossed“) präsentiert wurde. Die im Training erlangte Steigerung der Wahrnehmungsleistung konnte vollständig auf Stimuli übertragen werden, die mit der für den entsprechenden Orte jeweils anderen, nicht trainierten Disparität präsentiert wurden. Dieses Ergebnis wird darin begründet, dass sich auf Grund er gleich häufig an den beiden Orten im Gesichtsfeld präsentierten Reize keine selektive räumliche Aufmerksamkeit ausbilden kann und somit der Lernerfolg nicht auf einen Ort beschränkt bleibt. Dies spricht nicht für einen auf höheren kortikalen Ebenen stattfindenden Lerneffekt, sondern deutet viel mehr auf ein Zutreffen der Theorie, dass es sich bei der Stimuluspezifität des Lernerfolgs um ein Phänomen selektive räumliche Aufmerksamkeit handelt, hin.

Warum sich im Gegensatz zu dieser Vielzahl an Untersuchungen in der vorliegenden Studie keine Stimuluspezifität des Wahrnehmungslernens gezeigt hat, ist unklar, könnte jedoch möglicherweise auf Verfahrensfehler zurückzuführen sein. Um Fehler bei der Erfassung der Daten ausschließen zu können, wäre eine erneute Replikation der Untersuchung mit den gleichen Reizen notwendig. Sollte sich erneut keine Stimuluspezifität zeigen, könnte dies auch im Aufbau der visuellen Stimuli begründet liegen. Sowohl der trainierte Stimulus, wie auch der Kontrollstimulus, besteht aus 8 dreidimensionalen Quadraten, von den eines dem Betrachter näher erscheint. Trainings- und Kontrollstimulus variieren lediglich in ihrer

Exzentrizität. Möglicherweise liegen die beiden Stimuli im Gesichtsfeld so nah beieinander, dass sich keine selektive räumliche Aufmerksamkeit ausgebildet hat, wodurch die gesteigerte Wahrnehmungsleistung vollständig auf den nicht trainierten Stimulus übertragen werden konnte. Dies entspräche dem Ergebnis der Studie von Swoden, Davies, Rose und Kaye (1996) und würde somit die Theorie über selektive räumliche Aufmerksamkeit als Ursache für die Stimulsspezifität des Wahrnehmungslernens unterstützen.

Die Hypothese der Ortsspezifität des Lernerfolgs konnte durch die vorliegende Untersuchung bestätigt werden. Gemäß der Erwartung zeigten Personen, die mit Reizen kleiner Exzentrizität trainierten, welche im Gesichtsfeld näher der Fovea dargeboten wurden, einen besseren Lernerfolg, als die Versuchspersonen, die mit Reizen großer Exzentrizität trainiert hatten. Der Lernerfolg ist somit abhängig von der Exzentrizität des Reizes, sowie vom Ort des Reizes im Gesichtsfeld. Eine Ortsspezifität der Wahrnehmungsfähigkeit konnte in vergangenen Studien bei Untersuchungen mit Nonius-Reize gezeigt werden. Westheimer und McKee (1977, zitiert nach Ludwig und Skrandies 2002) ermittelten für foveal präsentierte Nonius-Reize ein Wahrnehmungsschwelle von 5 Bogensekunden. Für peripher präsentierte Nonius-Reize betrug die ermittelte Wahrnehmungsschwelle hingegen 1 Bogenminute (Westheimer, 1982, zitiert nach Ludwig und Skrandies 2002).

Die Ortsspezifität des Lernerfolgs könnte darin begründet sein, dass die Reize großer Exzentrizität, die im Gesichtsfeld weiter am Rand liegen, von weitaus weniger Rezeptoren erfasst werden. Daraus könnte man schließen, dass ein nahe der Fovea dargebotener Stimulus nicht nur besser und schärfer gesehen werden kann, sondern seine Wahrnehmung auch besser gelernt werden kann.

Als problematisch anzusehen ist, dass bei der Hälfte aller Versuchspersonen nach dem 20 Minuten langen Training ein Lernerfolg von 10% oder mehr nicht festgestellt werden konnte. Das bedeutet, dass nur 14 der 28 Versuchspersonen ihre Wahrnehmungsleistung nach dem Training um mindestens 10%, verglichen mit dem Ausgangsniveau verbessert hatten.

Zwar zeigt sich auch in Untersuchungen der Vergangenheit, dass sich bei einem gewissen Prozentsatz der Versuchspersonen kein Lernerfolg einstellt (Fahle, Edelman und Poggio, 1995; Ludwig, I., Skrandies, W., 2002), allerdings lag die Zahl der Versuchspersonen ohne Lernerfolg mit 20 bis 30% weit unter den 50% der vorliegenden Untersuchung. Die große Zahl an Versuchspersonen, bei denen sich kein Lernerfolg eingestellt hat, könnte möglicherweise in fehlender Motivation begründet liegen. Es könnte sein, dass viele der

Versuchspersonen eher damit befasst waren, die Untersuchung möglichst schnell zu beenden, jedoch wenig Motivation dazu aufbrachten, möglichst viel richtig zu haben und somit gut zu sein. Abhilfe könnte hier in zukünftigen Untersuchungen ein System schaffen, bei dem die Versuchspersonen eine kleine Belohnung, für eine möglichst gute Leistung erhalten. Somit wäre eine Motivation für gute Leistung geschaffen, wodurch voraussichtlich die Zahl der Versuchspersonen ohne einen Lernerfolg absinken würde.

Bei der Suche nach anderen Einflussfaktoren auf den Lernerfolg zeigte sich, dass weder das Alter, noch das Geschlecht, nach der Visus der Versuchspersonen mit dem Lernerfolg in signifikanten Zusammenhang gebracht werden können.

Der nicht bestehende Zusammenhang zwischen Alter und Lernerfolg liegt vermutlich darin begründet, dass der Großteil der Versuchspersonen in der Stichprobe, die einen Mittelwert von 23,4 Jahren hat, sehr jung war. Um den Lernerfolg mit dem Alter in Zusammenhang bringen zu können, müsste ein größerer Teil der Stichprobe bereits fortgeschrittenen Alters sein.

Einen Zusammenhang zwischen dem Lernerfolg und der Variable Geschlecht könnte in zukünftigen Studien durch eine gleichmäßigere Verteilung der Geschlechter in der Stichprobe gezeigt werden. Bei den lediglich 4 männlichen Versuchspersonen, die an der vorliegenden Untersuchung teilnahmen, konnte kein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden.

Da auch der Visus nicht in Zusammenhang mit dem Lernerfolg gebracht werden kann, scheint es noch weitere Faktoren zu geben, die in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden, welche einen Einfluss auf den Lernerfolg haben.

Andere Faktoren könnten beispielsweise die Leistungsmotivation, beziehungsweise der Ehrgeiz, die Konzentrationsfähigkeit oder womöglich sogar die Intelligenz, der Versuchsperson sein. Diese Faktoren könnten in zukünftigen Untersuchungen zum Wahrnehmungslernen separat durch Tests erfasst werden. Bei zukünftigen Replikationen, wäre darüber hinaus auf eine heterogenere Stichprobe hinsichtlich des Geschlechts und des Alters zu achten.

Literaturverzeichnis

Christ, R., Kapadia, M., Westheimer, G., Gilbert, C. (1997). *Perceptual learning of spatial localization: specificity for orientation, position, and context*. Journal of Neurophysiology, 78, 2889-2894.

Goldstein, B.E. (2002). *Wahrnehmungspsychologie*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag

Fahle, M., Edelman, S., Poggio, T. (1995). *Fast perceptual learning in hyperacuity*. Vision Research, 35, 3003-3013.

Fahle, M. (1993). *Visual learning in the hyperacuity range in adults*. German Journal of Ophthalmology, 2, 83-86.

Haubensak, G. (2004). *Giessener Experimentalpsychologisches Praktikum II*. Justus-Liebig-Universität Giessen.

Knauers großer Zitate Schatz (2003). München: Droemersch Verlag

Oldfield, R.C. (1971). *The Assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory*. Neuropsychologia, 9, 97-113.

Pieper, W., Ludwig, I. (2003). *Experimentelles Praktikum I*. Justus-Liebig-Universität Giessen.

Rosenzweig, M.R. (2005). *Biological Psychology*. Sunderland: Sinauer Associates.

Städtler, T. (2003). *Lexikon der Psychologie*. Stuttgart: Kröner

Ludwig, I., Skrandies, W. (2002). *Human perceptual learning in the peripheral visual field: sensory thresholds and neurophysiological correlates*. Biological Psychology, 59, 187-206.

O'Toole, A., Kersten, D. (1992). *Learning to see random-dot stereograms*. Perception, 21, 227-243.

Ramachandran (1976). *Learning-like phenomena in stereopsis*. Nature, 262, 382-384.

Skrandies, W., Fahle, M. (1994). *Neurophysiological correlates of perceptual learning in the human brain*. Brain Topography 7, 163-168.

Skrandies, W., Jedynek, A. (1999). *Learning to see 3-D: psychophysics and brain electrical activity*. NeuroReport, 10, 249-253.

Skrandies, W., Jedynek, A., Fahle, M. (2001). *Perceptual learning: psychophysical thresholds and electrical brain topography*. International Journal of Psychology, 41, 119-129.

Swoden, P., Davies, I., Rose, D., Kaye, M. (1996). *Perceptual learning of stereoacuity*. Perception, 25, 1043-1052.